

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Aerospaziale

Tesi di Laurea Magistrale
LASER POWDER BED FUSION OF A NOVEL Ti
ALLOY VIA IN-SITU ALLOYING



Relatori:

Sara Biamino

Abdollah Saboori

Candidato:

Andrea Mattacheo

Anno Accademico 2019/2020

LASER POWDER BED FUSION OF A NOVEL Ti ALLOY VIA IN-SITU ALLOYING

Le tecnologie AM sono state caratterizzate negli ultimi 20 anni da una crescente diffusione in molteplici settori industriali per via della sempre maggior richiesta di componenti caratterizzati da elevate prestazioni. Le tecnologie di Additive Manufacturing si aggiungono alle altre tecniche utilizzate per realizzare componenti, quali la forgiatura e la colata.

A differenza delle tecniche tradizionali basate su un approccio sottrattivo, questa tecnologia è basata su un approccio additivo per la realizzazione dei componenti a partire dal materiale di partenza. Questa diversità permette di avere un risparmio in termini di costi e tempo e permette di realizzare componenti complessi o cavi in pochi step produttivi.

Le tecnologie di Additive Manufacturing possono essere divise in base al materiale e alla fonte di energia utilizzati nel processo costruttivo. Tra le varie tecnologie di Additive Manufacturing, ha avuto grande diffusione l'utilizzo dei macchinari LPBF. Questo è dovuto al favorevole rateo di accrescimento del componente, alla presenza di un'atmosfera neutra e alla sua facilità di utilizzo che permette di intervenire rapidamente per modificare la composizione della lega che si sta realizzando. La tecnologia LPBF è una tecnologia AM a letto di polvere, dove la polvere del materiale metallico viene fusa da un fascio laser che scansiona la superficie secondo un disegno CAD fornito in input al macchinario. Le tecnologie AM vengono utilizzate sempre più frequentemente nel campo delle leghe metalliche. Le leghe di Titanio, a partire dagli anni 50, ha iniziato ad avere una diffusione sempre maggiore nel campo aerospaziale e dell'automotive, sostituendo altre superleghe metalliche con prestazioni meccaniche inferiori. Le ricerche condotte nel campo delle leghe di Titanio vuole portare ad avere vantaggi in termini prestazionali e di costi nel prossimo futuro.

Lo scopo di questo lavoro è quello di trovare i parametri di processo ottimali per la realizzazione delle leghe CP-Ti e Ti-Cu realizzate tramite tecnologia LPBF. Si vuole valutare, inoltre, la variazione della morfologia dei grani e l'effetto dell'aggiunta di Cu sulla microstruttura della lega.

I campioni analizzati sono stati realizzati presso l'Integrated Additive Manufacturing (IAM) del Politecnico di Torino.

Il DOE è costituito da due Job differenti costituiti da 16 campioni cubici di lato 10mm, realizzati con scanning strategy 'Stripe' e rotazione di 67° tra uno strato e il successivo.

Le leghe analizzate sono CP-Ti e Ti-1%wt.Cu-0.1%wt.B. La polvere di Titanio è stata acquistata presso LPW LTD. La polvere di Rame è stata acquistata presso Sandvik Osprey Ltd. La polvere di Boro è pervenuta invece da Sigma Aldrich.

Il Job dei campioni di Titanio Commercialmente Puro è stato realizzato utilizzando 12 combinazioni di parametri di processo. Le combinazioni scelte utilizzano potenze del fascio laser di 95 W o 75 W, velocità di scansione di 700 mm/s, 900 mm/s o 1100 mm/s, distanza di hatching di 0.088 mm, 0.098 mm o 0.108 mm.

Il Job dei campioni di Ti-Cu è stato realizzato utilizzando 9 combinazioni di parametri di processo. Le combinazioni scelte utilizzano potenze del fascio laser di 95 W, velocità di scansione di 700 mm/s, 900 mm/s o 1100 mm/s, distanza di hatching di 0.088 mm, 0.098 mm o 0.108 mm.

Dal grafico VED-Porosity dei campioni del Job1 CP-Ti è emerso come valori di Densità di Energia superiori a 55.394 Jmm^{-3} determinino una percentuale di porosità all'interno del materiale inferiore al 10% e come per valori superiori a 60 Jmm^{-3} questo valore sia inferiore al 5%.

I campioni che presentano una frazione di porosità bassa sono accomunati da avere la velocità di scansione di 700 mm/s. Per ogni serie di parametri accomunati dalla stessa velocità di scansione (#1, #2, #3 - #4, #5, #6 - #7, #8, #9 - #10, #11, #12), la minor percentuale di porosità la si ottiene con la minore distanza di hatching. Allo stesso modo, per ogni serie di parametri accomunati dalla stessa distanza di hatching, il valore minore lo si ha con la minima velocità di scansione. Questo perché viene garantita una migliore fusione dello strato di polvere di Titanio depositata. La frazione di porosità diminuisce con l'aumento della Densità di Energia, coerentemente con quanto osservato in altri lavori.

Questi parametri di processo hanno fornito la base per la realizzazione del Job2 Ti-Cu-B.

Dalle analisi sui campioni del Job2 Ti-1Cu-0.1B sono state osservate gli effetti sulla microstruttura e sulla composizione avuta con questo set di parametri di processo.

La microstruttura dei campioni analizzati varia col variare della densità di energia. Grani β precursori con all'interno fasi α lamellari si trasformano con l'aumento di energia. La fase β presente all'interno dei grani aumenta, mentre compaiono fasi martensitiche α dovute ai cicli termici che subisce il materiale durante la deposizione. La presenza in lega del Rame fa sì che la temperatura di β -transus diminuisca, rallentando la trasformazione della fase β durante la solidificazione.

La presenza in lega del Boro agisce sulla geometria dei grani presenti. I grani che costituiscono il materiale sono equiassici. Il Boro agisce sul raffinamento dei grani, con il suo valore molto elevato di "restriction factor" (Q). Questo elemento agisce da elemento trigger per la crescita di nuovi grani, modificando la natura colonnare in equiassica. Il fenomeno è caratterizzato dalla formazione di una zona di super raffreddamento dall'interfaccia solido-liquido. Insieme alla tendenza del Boro a fare da nucleante, questo fenomeno rende la solidificazione rapida, impedendo ai grani di crescere in dimensioni.

All'interno dei campioni si possono osservare zone ricche di Rame in corrispondenza dei bordi di grano e dei difetti del materiale. Le prime sono determinate dall'effetto Marangoni che agisce all'interno della pozza di fusione. Il Rame già fuso si deposita sul fondo della melt pool dove i flussi turbolenti dovuti al diverso gradiente termico agiscono distribuendo le particelle già solidificate lungo tutta la pozza di fusione che avanza nel verso del fascio laser. Le seconde sono dovute al diverso tempo di solidificazione di Rame e Titanio. Il primo elemento ha un tempo di solidificazione inferiore. Questo fa sì che si formi un'armatura attorno al difetto, con il Titanio che non riesce a riempire il poro.

Alla luce di questi risultati, i campioni saranno sottoposti a test meccanici a trazione in un prossimo step del lavoro.